مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

ارزیابی کارآیی جذب و استفاده پتاسیم در ژنوتیپ‌های پنبه

Evaluating of Potassium Uptake and Utilization Efficiency in Cotton Genotypes

عبدالرضا قرنجیکی[۱]، اسماعیل دردی‌پور[۲]، عمران عالیشاه[۳] و فرشید قادری‌فر[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۴

چکیده

قرنجیکی ، ع.، دردی‌پور ، ا.، عالیشاه ، ع. و قادری‌فر، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی کارآیی جذب و استفاده پتاسیم در ژنوتیپ‌های پنبه. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵:** ۵۷- ۴۱.

شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های با کارآیی جذب و استفاده پتاسیم می‌تواند به افزایش بازده کودهای پتاسیمی و استفاده بهتر از پتاسیم قابل جذب خاک در اراضی دچار کمبود این عنصر کمک کند. بدین منظور در یک آزمایش هیدروپونیکی (آبکشت)، کارآیی پتاسیم ۲۵ ژنوتیپ پنبه بررسی شد. ژنوتیپ‌ها در دو سطح کمبود (۰/۰۲۵ میلی‌مولار) و کفایت (۲/۵ میلی‌مولار) پتاسیم رشد یافتند و گروه‌بندی کارآیی پتاسیم براساس شاخص‌های وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود، نسبت وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت و کارآیی استفاده پتاسیم انجام شد. کمبود پتاسیم منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های پنبه شد، اما کارآیی استفاده پتاسیم آنها را افزایش داد. همبستگی بسیار معنی‌دار ($r = 0/98^{**}$) بین وزن خشک ریشه و اندام هوایی بدست آمد. همبستگی وزن خشک ریشه و اندام هوایی با جذب و کارآیی استفاده پتاسیم نیز معنی‌دار بود. براساس نتایج گروه‌بندی کارآیی پتاسیم از نظر شاخص‌های وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک اندام هوایی، شش ژنوتیپ پنبه در گروه کارآ قرار گرفتند، اما از نظر کارآیی استفاده پتاسیم فقط چهار ژنوتیپ کارآیی داشتند. در نهایت براساس جمع‌بندی نتایج، ارقام گلستان، ساجدی و ژنوتیپ N2G80، ژنوتیپ‌های کارآ در جذب و استفاده از پتاسیم شناسایی و انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: پنبه، کمبود پتاسیم، کفایت پتاسیم، وزن خشک، هیدروپونیک.

نگارنده مسئول: e.dordipour@yahoo.com تلفن: ۰۱۷۳۲۴۲۶۵۲۳

مقدمه

تمام گیاهان برای رشد و نمو مطلوب به مقادیر کافی پتاسیم نیاز دارند. با اینکه پتاسیم از اجزای تشکیل دهنده بافت‌های گیاهی نیست، اما فراوان‌ترین کاتیون معدنی در سلول‌های گیاهی بوده و در فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی متعددی نقش دارد (Hawkesford *et al*., 2011). فعال‌سازی آنزیم‌ها، تنظیم اسمزی سیتوپلاسم، سنتز کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین و فرآیندهای فتوسنتزی بعضی از وظایف پتاسیم در گیاه است (Oosterhuis *et al*., 2013). همچنین، پتاسیم موجب افزایش تحمل گیاه در مقابل تنش‌های محیطی می‌شود. بنابراین مصرف پتاسیم در اراضی شور موجب افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (Ardakani *et al*., 2016).

پتاسیم عنصر بسیار مهم و کلیدی در تولید پنبه بوده و تاثیر مثبت و مستقیمی بر عملکرد، اجزای عملکرد گیاه (Pettigrew, 2008) و خصوصیات کیفیت الیاف آن دارد (Seilsepour, 2012). به‌دلیل تراکم ریشه‌ای پایین این گیاه، ظرفیت جذب پتاسیم آن از خاک در مقایسه با اکثر گیاهان زراعی، مخصوصاً گیاهانی که به صورت ردیفی کشت می‌شوند، کمتر است (Kerby and Adams, 1985). بنابراین، کمبود پتاسیم در پنبه شایع‌تر بوده و معمولاً عوارض آن شدیدتر از سایر گیاهان زراعی بروز می‌کند (Mulins and Burmester, 2010).

اختلاف در جذب (Uptake) و بهره‌وری (Utilization) از عناصر غذایی، نه‌تنها در بین گونه‌های مختلف گیاهی وجود دارد، بلکه این تفاوت در بین ژنوتیپ‌های یک گونه نیز مشاهده شده است. مجموع این دو سازکار (جذب و بهره‌وری) که کارآیی مصرف عناصر غذایی (Nutrient use efficiency) نامیده می‌شود، توانایی ریشه‌های گیاه در جذب عنصر در شرایط کمبود و میزان بهره‌گیری گیاه از هر واحد عنصر جذب شده در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیسمی را نشان می‌دهد (Rengel and Damon, 2008).

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گیاهی بر اساس کارآیی مصرف عناصر غذایی، ابتدا توسط گرلف (Gerloff, 1977) پیشنهاد شد. این گروه‌بندی فقط بر اساس قابلیت تولید ماده خشک اندام هوایی گیاهان انجام گرفت. اما پژوهشگران بعدی، وضعیت عنصر غذایی در اندام هوایی را نیز به عنوان یک عامل مهم در گروه‌بندی کارآیی استفاده عناصر غذایی گیاهان مورد استفاده قرار دادند.

صدیقی و گلاس (Siddiqi and Glass, 1981) غلظت عنصر در گیاه را عامل مهمی دانسته و کارآیی را بر اساس نسبت وزن خشک به غلظت عنصر در اندام هوایی تعریف نمودند. از این پارامتر در مطالعات زیادی به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های با کارآیی استفاده کلسیم در لوبیا (Domingues *et al*., 2014)، فسفر در گندم

(Korkmaz *et al*., 2009)، فسفر در کلزا (Korkmaz and Altintas, 2016)، فسفر در پنبه (Ahmad *et al*., 2001; Iqbal *et al*., 2001)، پتاسیم در کلم (White *et al*., 2010)، پتاسیم در گندم (Chachar *et al*., 2015) و پتاسیم در پنبه (Yang *et al*., 2011; Aamer *et al*., 2014) استفاده شد.

برآورد شده است که بیش از ۲۸ درصد خاک‌های زراعی ایران کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده دارند و در بعضی استان‌ها مثل بوشهر و گیلان، اراضی دارای کمبود پتاسیم به بیش از ۸۰ درصد هم می‌رسد. از طرف دیگر، بر اساس تحقیقات انجام شده درباره تغییرات پتاسیم قابل استفاده خاک در طول سه دهه گذشته نشان داده است که در غالب مناطق ایران روندی کاهشی در میزان پتاسیم قابل جذب خاک دیده می‌شود.

این در حالی است که کشور وابستگی شدیدی به واردات کودهای پتاسیمی دارد. به طور مثال، کودهای پتاسیم مورد نیاز ایران در سال ۱۳۹۳ برای بخش کشاورزی ۴۴۰ هزار تن برآورده شد. اما مجموع ظرفیت تولید این کودها در ایران حدود ۲۲ هزار تن بود. یعنی حد اکثر تنها پنج درصد نیاز کشور در داخل تولید شد (Khavazi *et al*., 2014). ازاین‌رو، شناسایی و توسعه کشت ژنوتیپ‌های با کارآیی مصرف پتاسیم می‌تواند منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی پتاسیمی و تولید محصول مناسب حتی در خاک‌های دچار کمبود این عنصر شود.

تحقیقات معدودی در ایران درباره کارآیی جذب و استفاده عناصر غذایی گیاهان زراعی مختلف انجام شده و درباره کارآیی مصرف پتاسیم ژنوتیپ‌های مختلف پنبه گزارشی وجود ندارد. در این تحقیق، کارآیی جذب و استفاده پتاسیم در ۲۵ ژنوتیپ پنبه با کشت در محلول غذایی بررسی و ژنوتیپ‌های با کارآیی بالا شناسایی و انتخاب شدند.

مواد و روش‌ها

بذر ۲۵ ژنوتیپ مختلف پنبه شامل ۱۳ رقم به اسامی ساحل، مهر، بختگان، ارمغان، خورشید، ورامین، لطیف، شایان، ساجدی، کاشمر، گلستان، خرداد، و سپید و ۱۲ ژنوتیپ با نام‌های BLV94، SKTBA3، TBL94، SKG، CUK94، NSKB23، SKT133، N2G80، NN2A19، M16، BC244 و M13 با اسید سولفوریک غلیظ کرک‌زدایی و با هیپوکلریت سدیم یک درصد ضدعفونی شدند. بذر ضد عفونی شده ابتدا با آب معمولی و بلافاصله با آب مقطر شستشو و تا خشک شدن کامل در هوای آزاد قرار گرفتند. بذر هر رقم/ژنوتیپ به‌طور جداگانه در گلدان‌های پر شده با شن کف رودخانه که چند مرحله با اسید کلریدریک ۰/۵ نرمال شستشو داده شده بودند، کشت شدند. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر انجام شد.

گیاهچه‌های هفت روزه هم‌اندازه از هر رقم/ژنوتیپ پنبه به گلدان‌های پلاستیکی که با ۲/۶ لیتر از محلول غذایی جانسون (Johnson et al., 1957) پر شده بودند، منتقل شدند. در هفته اول کشت، از محلول غذایی نیم جانسون (نصف قدرت یونی محلول) استفاده گردید، اما بعد از آن و تا زمان برداشت گیاه، محلول غذایی حاوی غلظت کامل جانسون بود. غلظت پتاسیم نیز در دو غلظت متفاوت ۰/۰۲۵ و ۲/۵ میلی‌مولار (به ترتیب حد کمبود و کفایت پتاسیم برای گیاه) تامین شد. در طول دوره رشد گیاهچه‌های ژنوتیپ‌ها، با استفاده از اسید سولفوریک یا هیدروکسید سدیم، pH محلول غذایی در حدود شش ثابت نگه داشته شد. محلول غذایی در هر پنج روز تعویض گردید. هر گلدان دارای سه گیاهچه بود.

هر تیمار در یک گلدان مجزا کشت شد. تیمارها در قالب آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر ژنوتیپ در سه گلدان مجزا) در یک گلخانه شیشه‌ای با نور طبیعی روز، چیده شدند و به‌منظور برقراری شرایط تقریباً مشابه برای همه تیمارها، گلدان‌ها هر سه روز یک‌بار به صورت چرخشی جابجا شدند.

دمای گلخانه در روز ۲ ± ۲۶ و در شب ۲ ± ۲۲ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۵ ± ۷۰ درصد تنظیم شد. گیاهچه‌ها در پایان مرحله چهار برگ حقیقی برداشت شدند و در سه مرحله به طور کامل با آب مقطر شستشو و پس از هوا خشک کردن، در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

ریشه و اندام‌های هوایی (مجموع ساقه و برگ) گیاهچه‌ها توزین شد و سپس در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر خشک تبدیل گردید و غلظت پتاسیم آنها از طریق عصاره‌گیری با اسید کلریدریک دو نرمال اندازه‌گیری (Jones and Case, 1990) شده و پارامترهای زیر محاسبه گردید:

$$KUP = SDW \times SKC \quad \text{(Zhang \textit{et al.}, 2007)} \qquad (۱)$$

$$KUE = SDW \div SKC = SDW^2 \div KUP \quad \text{(Siddiqi and Glass, 1981)} \qquad (۲)$$

KUP = مقدار برداشت پتاسیم توسط اندام‌های هوایی گیاه

SDW = وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه

SKC = غلظت پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه

KUE = کارآیی استفاده پتاسیم اندام‌های هوایی گیاه

برای تعیین کارآیی پتاسیم برای هر صفت، از روش گیل و همکاران (Gill *et al*., 2004) استفاده شد. در این روش، ابتدا میانگین (M) و

انحراف معیار (SD) ژنوتیپ‌ها برای آن صفت محاسبه و ژنوتیپ‌هایی که از مجموع میانگین و انحراف معیار (M + SD) بیشتر دارا باشند، در گروه کارآ (Efficient) قرار می‌گیرند و آنهایی که از تفاضل این دو پارامتر (M - SD) مقدار کمتری دارند، ناکارآ (Inefficient) هستند. سایر ژنوتیپ‌ها که در محدوده این دو مقدار قرار می‌گیرند، در گروه متوسط کارآ (Medium efficient) محسوب می‌شوند. نقاط M ± SD را می‌توان بر روی یک محور افقی (x) تعیین و با ترسیم خطی از آن نقطه به موازات محور عمودی (y)، محدوده کارآ، ناکارآ و متوسط کارآ را تعیین و به‌صورت ترسیمی نشان داد. در نهایت بر اساس برآیند این نتایج، کارآیی پتاسیم ژنوتیپ‌های پنبه تعیین و ژنوتیپ‌های کارآ شناسایی و انتخاب شدند.

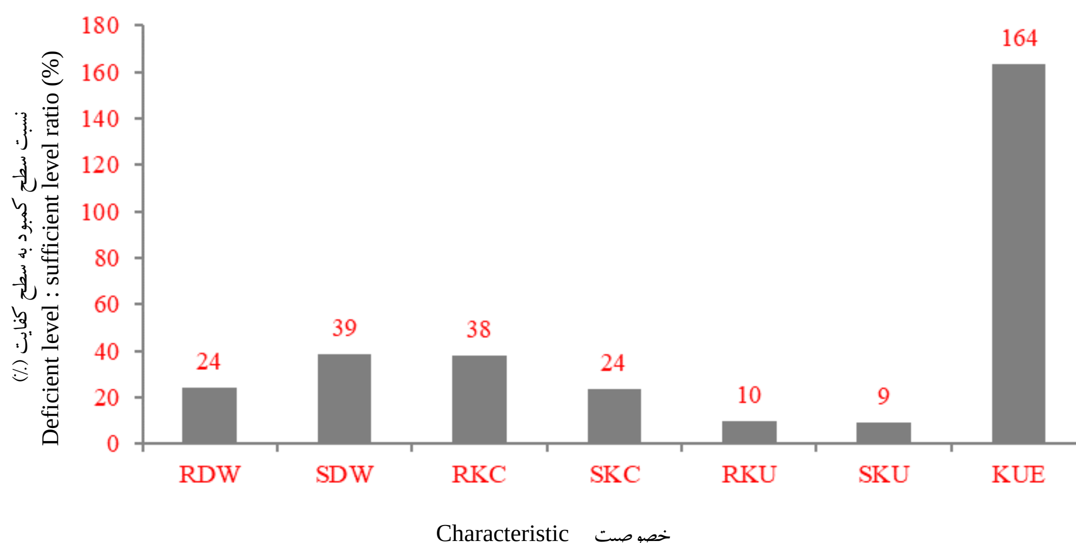
برای گروه‌بندی و انتخاب ژنوتیپ‌های کارآ در استفاده از پتاسیم، از روش اوسبورن و رنگل (Osborne and Rengel, 2002) استفاده شد که در آن ژنوتیپ‌ها براساس وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود پتاسیم، نسبت وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود به کفایت پتاسیم و کارآیی استفاده پتاسیم گروه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر پتاسیم، ژنوتیپ و اثر متقابل آنها بر وزن خشک، غلظت و مقدار جذب پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی و کارآیی استفاده پتاسیم معنی‌دار بود (جدول ۱).

وزن خشک ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌ها در سطح کمبود پتاسیم کمتر از سطح کفایت آن بود. همچنین، غلظت و جذب پتاسیم آنها نیز در سطح کمبود پتاسیم کاهش یافت (شکل ۱). نتایج مشابه در آزمایش‌های متعددی گزارش شده است (Cassman *et al.*, 1989; Yang *et al.*, 2011). چون پتاسیم عنصری ضروری برای بسیاری از فرآیندهای رشدی گیاه نظیر رشد مریستمی، فعال‌سازی ATPase و آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، افزایش هورمون‌های گیاهی، بهبود کارآیی فتوسنتز و تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به سایر اندام‌هاست (Mengel and Kirkby, 2001)، بنابراین انتظار می‌رود با کمبود پتاسیم، جذب و غلظت آن در اندام‌ها و در نتیجه رشد گیاه کاهش یابد.

کارآیی استفاده پتاسیم توسط اندام‌های هوایی گیاه در سطح کمبود پتاسیم بیشتر از سطح کفایت آن بود که در شکل ۱ تغییرات آن نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود پتاسیم، به ازای هر واحد غذایی پتاسیم جذب شده، ماده خشک بیشتری در مقایسه با شرایط کفایت آن تولید نموده‌اند. معمولاً، اکثر گیاهان در شرایط کمبود عناصر غذایی چنین توانایی را دارند. این ویژگی، در انواع گیاهان زراعی مثل کلسیم در لوبیا (Domingues *et al.*, 2014)، فسفر در



شکل ۱- نسبت وزن خشک، غلظت، جذب و کارآیی استفاده ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های پنبه در سطح کمبود به کفایت پتاسیم

Fig. 1. Ratio of dry weight, concentration, uptake and use efficiency of root and shoot of cotton genotypes at deficient level; sufficient level of potassium

RDW = Root dry weight	وزن خشک ریشه	SDW = Shoot dry weight	وزن خشک اندام هوایی
RKC = Root K concentration	غلظت پتاسیم ریشه	SKC = Shoot K concentration	غلظت پتاسیم اندام هوایی
RKU = Root K uptake	جذب پتاسیم ریشه	SKU = Shoot K uptake	جذب پتاسیم اندام هوایی
KUE = K use efficiency	کارآیی استفاده پتاسیم		

گندم (Kosar *et al.*, 2003) و بور در پنبه (Shah *et al.*, 2014) گزارش شده است. این ویژگی برای کارآیی استفاده پتاسیم در پنبه نیز مشاهده شده است (Zhang *et al.*, 2007; Hua *et al.*, 2009; Wang and Chen, 2012).

ضرایب همبستگی وزن خشک ریشه با وزن خشک اندام هوایی، جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی و کارآیی استفاده پتاسیم (جدول ۲) نشان داد که کارآیی پتاسیم ژنوتیپ‌های پنبه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر وزن خشک ریشه می‌باشد. این رابطه توسط ضیاءالحسن و همکاران (Zia-ul-Hassan *et al.*, 2011) نیز گزارش شد.

در یک آزمایش هیدروپونیکی، یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2011) با مطالعه چهار ژنوتیپ کارا و چهار ژنوتیپ ناکارآ در استفاده از پتاسیم محلول غذایی مشاهده کردند که وزن خشک و کارآیی استفاده پتاسیم ژنوتیپ‌های کارا به‌طور معنی‌داری بیشتر از ژنوتیپ‌های ناکارآ بود. با افزایش رشد ریشه، طول و سطح کل ریشه بیشتر شده و در نتیجه گیاه به پتاسیم بیشتری دسترسی پیدا می‌کند. بنابراین جذب پتاسیم توسط ارقام/ژنوتیپ‌های کارا بیشتر از ارقام/ژنوتیپ‌های ناکارا

جدول ۱- تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه ژنوتیپ‌های پنبه در سطوح کمبود و کفایت پتاسیم

Table 1. Analysis of variance of different studied traits of cotton genotypes in deficient and sufficient levels of potassium

			وزن خشک Dry weight		غلظت پتاسیم Potassium concentration		جذب پتاسیم Potassium uptake		
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	کارآیی مصرف پتاسیم Potassium use efficiency
Potassium (K)	پتاسیم	1	0.781**	12.21**	50.34**	97.49**	386**	11789**	0.030**
Genotype (G)	ژنوتیپ	24	0.004**	0.137**	0.050**	0.050**	1.089**	42.59**	0.002**
K × G	پتاسیم × ژنوتیپ	24	0.003**	0.099**	0.045**	0.026**	1.008**	35.47**	0.001**
Error	خطا	100	0.0002	0.001	0.021	0.004	0.152	1.070	0.00003
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	13.32	5.98	11.17	4.90	20.06	9.69	9.74

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Significant at the 1% probability levels

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین وزن خشک ریشه و اندام هوایی با سایر صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های پنبه در سطح کمبود پتاسیم

Table 2. Correlation coefficients between root and shoot dry weights with other studied traits of cotton genotypes in deficient level of potassium

		وزن خشک Dry weight		جذب پتاسیم Potassium uptake		
Characteristic	خصوصیت	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	کارآیی مصرف پتاسیم Potassium use efficiency
Root dry weight	وزن خشک ریشه	1.00	0.98**	0.96**	0.90**	0.88**
Shoot dry weight	وزن خشک اندام هوایی			0.95**	0.94**	0.89**

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Significant at the 1% probability levels.

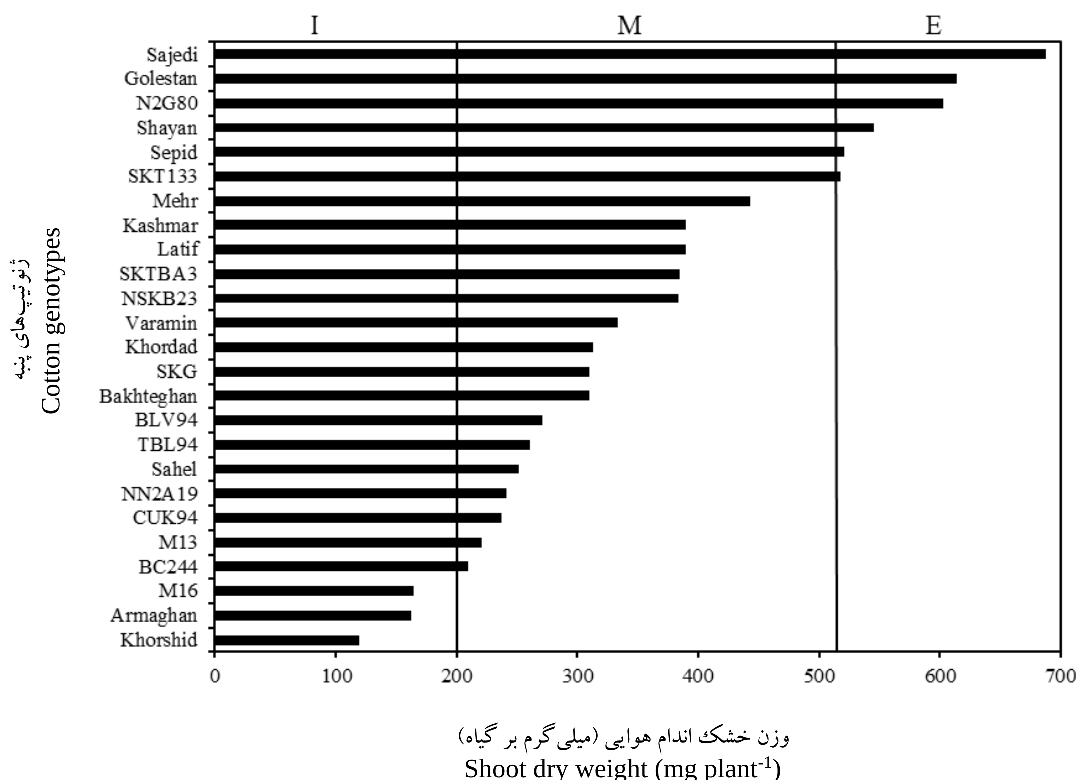
خواهد بود (Hua *et al*., 2009).

شاید به‌نظر برسد که در محلول غذایی کشت هیدروپونیکی، ریشه گیاه محدودیتی در دسترسی به پتاسیم و در نتیجه جذب آن نخواهد داشت. این مساله در صورتی درست خواهد بود که مکان‌های جذب کننده پتاسیم بر روی سطح ریشه اشباع از پتاسیم نشود. آزمایشات نشان داده است که ثابت میکائیلیس ـ منتن (K_m) برای جذب پتاسیم توسط ریشه‌های پنبه (غلظتی از پتاسیم که در آن شدت جذب به نصف حداکثر جذب می‌رسد)، در حدود ۰/۰۰۳ میلی‌مولار است (Yang *et al*., 2011). بنابراین چون غلظت پتاسیم محلول غذایی در این آزمایش (۰/۰۲۵ میلی‌مولار) بسیار بزرگ‌تر از K_m است، مکان‌های جذب کننده ریشه همیشه اشباع از پتاسیم خواهند بود. در نتیجه، شدت جذب پتاسیم تابع رشد ریشه خواهد بود (Rengel and Damon, 2008).

در این تحقیق، همبستگی معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی با جذب پتاسیم و کارآیی استفاده پتاسیم به‌دست آمد (جدول۲). اندام هوایی شدیداً تحت تاثیر مقدار پتاسیم در گیاه می‌باشد. بنابراین ارقام و ژنوتیپ‌هایی که تجمع پتاسیم در اندام هوایی آنها بیشتر است، رشد بهتری داشته و ماده خشک بیشتری تولید خواهند نمود (Zhang *et al*., 2007). ارتباط بین جذب پتاسیم و رشد اندام هوایی در آزمایشات زیادی به اثبات رسیده است (Cassman *et al*., 1989; Zhang *et al*., 2007; Zia-ul-hassan *et al*., 2011).

ارقام و ژنوتیپ‌های کارآ توانایی بیشتری در جذب و تجمع پتاسیم در اندام هوایی دارند اما برخلاف این ویژگی، معمولاً غلظت پتاسیم در ارقام و ژنوتیپ‌های ناکارآ بیشتر است. بنابراین هم تولید ماده خشک بیشتر و هم غلظت کمتر پتاسیم در ارقام و ژنوتیپ‌ها منجر به افزایش کارآیی پتاسیم می‌شود (Yang *et al*., 2011). با این حال، هرچند کارآیی استفاده پتاسیم در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف بطور عمده متاثر از توان تولید ماده خشک و تسهیم (Partitioning) پتاسیم در بین بخش‌های مختلف گیاه است (Wang and Chen, 2012)، ولی در آزمایشات زیادی نیز مشاهده شده است که ارقام و ژنوتیپ‌هایی که در شرایط کمبود پتاسیم قادر به جذب پتاسیم بیشتری هستند، کارآیی استفاده پتاسیم بیشتری هم دارند (Rengel and Damon, 2008; White, 2013; Naseem *et al*., 2014).

در سطح کمبود پتاسیم، وزن خشک اندام هوایی ۲۵ رقم/ژنوتیپ پنبه بین ۱۱۹ میلی‌گرم بر گیاه برای رقم خورشید تا ۶۸۸ میلی‌گرم بر گیاه برای رقم ساجدی تغییرات داشت (شکل ۲) که نزدیک به شش برابر تفاوت بین آنها را نشان داد. کمبود پتاسیم منجر به کاهش وزن خشک اندام هوایی ارقام/ژنوتیپ‌ها نسبت به سطح کفایت آن نیز شد (شکل ۳). شدت این کاهش برای ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود به‌طوری که نسبت وزن خشک اندام هوایی

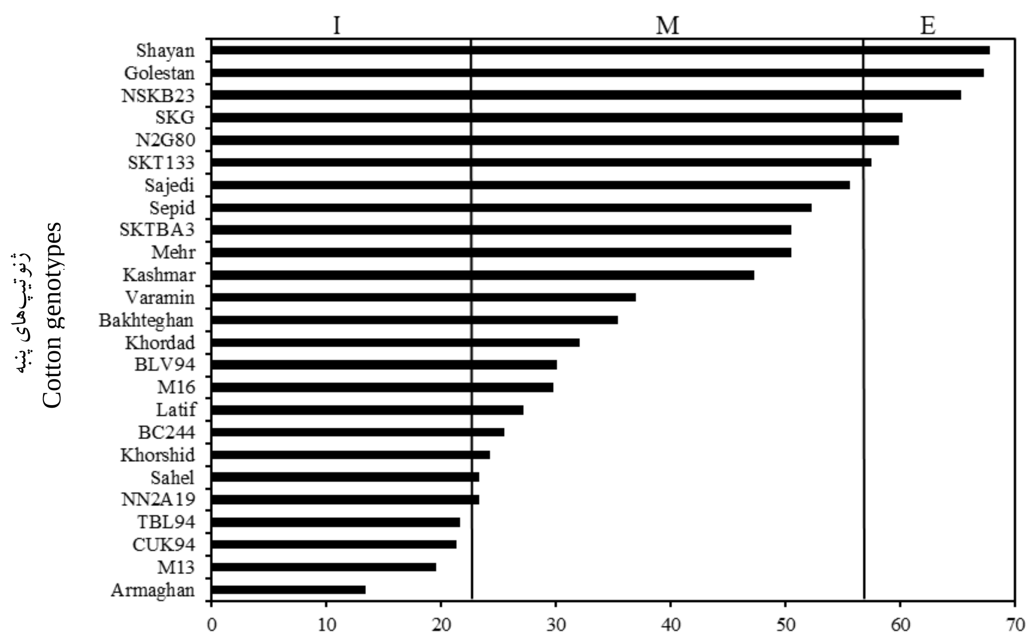


شکل ۲- گروه‌بندی کارآیی پتاسیم ژنوتیپ‌های پنبه (I = ناکارآ، M = متوسط کارآ و E = کارآ) بر اساس وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود پتاسیم با استفاده روش گیل و همکاران (Gill *et al.*, 2004)

Fig. 2. Grouping of potassium efficiency of cotton genotypes (I = Inefficient, M = Medium efficient and E = Efficient) based on shoot dry weight in potassium deficient level following Gill *et al.* (2004)

سطح کمبود به کفایت پتاسیم برای رقم ارمغان که کمترین مقدار را داشت، برابر با ۱۳/۴ درصد بود که نشان می‌دهد این ژنوتیپ در اثر کمبود پتاسیم ۸۶/۶ درصد کاهش رشد اندام هوایی داشت. رقم شایان در میان ۲۵ ژنوتیپ پنبه کمترین (۳۲/۲ درصد) کاهش رشد اندام هوایی را نشان داد.

وزن خشک اندام هوایی جایگاه مهم و ویژه‌ای در گروه‌بندی گیاهان برای کارآیی عناصر غذایی دارد، به‌طوری که این خصوصیت در انتخاب ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های کارآ در شرایط کمبود اکثراً مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fageria *et al.*, 2001). در این تحقیق، در گروه‌بندی کارآیی پتاسیم از نظر تولید ماده خشک اندام هوایی ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود پتاسیم، ارقام ساجدی، گلستان، ، شایان، سپید و ژنوتیپ‌های N2G80 و SKT133 در گروه کارآ قرار گرفتند (شکل ۲). همچنین بر اساس نسبت ماده خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت



شکل ۳- گروه‌بندی کارآیی پتاسیم ژنوتیپ‌های پنبه (I = ناکارآ، M = متوسط کارآ و E = کارآ) بر اساس نسبت خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت پتاسیم با استفاده از روش گیل و همکاران (Gill *et al*., 2004)

Fig. 3. Grouping of potassium efficiency of cotton genotypes (I = Inefficient, M = Medium efficient and E = Efficient) based on shoot dry weight ratio in deficient level : sufficient level of potassium followed Gill *et al*. (2004)

پتاسیم، ارقام شایان و گلستان و ژنوتیپ‌های NSKB23، SKG، NG80 و SKT133 کارآ بودند (شکل ۳).

در آزمایشی که توسط رنگل و گراهام (Rengel and Graham, 1995) برای گروه‌بندی کارآیی عنصر روی برای ۱۲ ژنوتیپ گندم در محلول غذایی انجام شد، دو ژنوتیپ از نظر ماده خشک اندام هوایی کارا بودند، اما از نظر نسبت وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت روی، پنج ژنوتیپ در گروه کارا قرار گرفتند.

در تحقیق دیگری که کارآیی عنصر فسفر در ۴۹ ژنوتیپ گندم بررسی گردید، ۱۴ ژنوتیپ از نظر وزن خشک اندام هوایی و ۱۳ ژنوتیپ نیز بر اساس نسبت وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت به عنوان ژنوتیپ‌های کارآ شناسایی شدند (Osborne and Rengel, 2002). ضیاءالحسن و همکاران (Zia-ul-Hassan *et al*. 2011) نیز در یک آزمایش هیدروپونیکی، سه ژنوتیپ پنبه را ارزیابی کردند که کارآیی پتاسیم در آنها از نظر وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن

خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت در گروه کارآ قرار داشت.

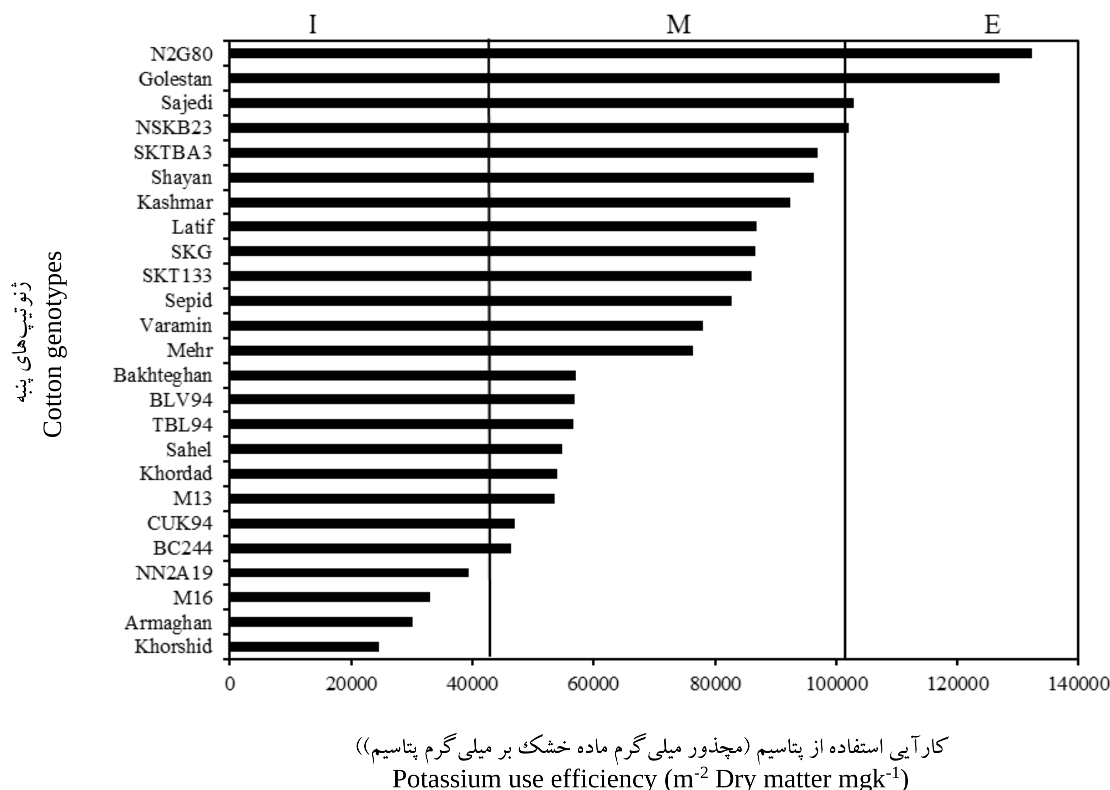
تفاوت رشد اندام هوایی ژنوتیپ‌ها ناشی از تفاوت ژنتیکی آنها نسبت به کمبود پتاسیم و شدت تاثیرپذیری آنها می‌باشد. این تغییرات ماده خشک در بسیاری از گیاهان مخصوصاً در مطالعات آزمایشگاهی مشاهده شده است (Cassman *et al*., 1989; Sabir *et al*., 2003; Aamer *et al*., 2014). ماده خشک اندام هوایی حساس‌ترین خصوصیت گیاهی، مخصوصاً در گونه‌های یک‌ساله است، که به کمبود پتاسیم واکنش نشان می‌دهد (Fageria *et al*., 2001). به همین دلیل این خصوصیت گیاهی معیار مهم و منحصر به فردی برای شناسایی و انتخاب ارقام و ژنوتیپ‌های کارآ به‌شمار می‌رود (Aamer *et al*., 2014).

یک رقم یا ژنوتیپ با کارآیی مطلق در یک عنصر غذایی این توانایی را دارد که رشد آن در شرایط کمبود نیز با محدودیت مواجه نشود، یعنی تولید ماده خشک در شرایط کمبود آن عنصر نیز همانند یا نزدیک به سطح کفایت باشد (Gerloff, 1977). رسیدن به این شرایط مخصوصاً از زمان معرفی ارقام جدید زودرس و پرمحصول که در یک دوره کوتاه به عناصر غذایی بیشتری نیاز دارند، پیچیده‌تر شده است (Lopez *et al*., 2008).

گرلف و گابلمن (Gerloff and Gabelman, 1983) برای بررسی این ویژگی ژنوتیپ‌های کارا، شدت تاثیر کمبود عنصر غذایی را بر تغییرات وزن خشک نسبت به سطح کفایت پیشنهاد کردند. تاثیرپذیری تولید ماده خشک ژنوتیپ‌های کارا به کمبود عنصر غذایی کمتر است. هوآ و همکاران (Hua *et al*., 2009) با مقایسه کارآیی پتاسیم در دو ژنوتیپ پنبه مشاهده کردند که کمبود پتاسیم، وزن خشک اندام هوایی ژنوتیپ ناکارا را ۷۶ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش برای ژنوتیپ کارا فقط ۳۸ درصد بود. در آزمایش مشابه دیگری، نسبت کاهش وزن خشک اندام هوایی برای ژنوتیپ پنبه کارا ۳۳ درصد و در ژنوتیپ ناکارا ۷۴ درصد بدست آمد (Yang *et al*., 2011).

در مقایسه کارآیی استفاده پتاسیم، تفاوت زیادی بین ژنوتیپ‌ها مشاهد گردید به‌طوری که بین ژنوتیپ N2G80 و رقم خورشید که به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین کارآیی بودند، بیش از چهار برابر تفاوت وجود داشت. در گروه‌بندی کارآیی استفاده پتاسیم، N2G80، گلستان، ساجدی و NSKB23 در گروه کارآ قرار گرفتند. همچنین خورشید، ارمغان، M16 و NN2A19 نیز در استفاده پتاسیم ناکارآ بودند (شکل ۴).

کارآیی استفاده پتاسیم در ارقام، ژنوتیپ‌ها و واریته‌های مختلف یک گونه گیاهی یکسان نیست و در بعضی از آنها تفاوت‌های قابل توجهی وجود دارد (Rengel and Damon, 2008). نتایج مطالعه



شکل ۴- گروه‌بندی کارآیی استفاده از پتاسیم ژنوتیپ‌های پنبه (I = ناکارآ، M = متوسط کارآ و E = کارآ) بر اساس کارآیی استفاده پتاسیم در سطح کمبود پتاسیم با استفاده روش گیل و همکاران (Gill *et al*., 2004)

Fig. 4. Grouping of potassium use efficiency of cotton genotypes (I = Inefficient, M = Medium efficient and E = Efficient) based on potassium use efficiency in deficient potassium level following Gill *et al*. (2004)

عامر و همکاران (Aamer *et al*., 2014) در یک آزمایش هیدروپونیکی با هفت ژنوتیپ پنبه نشان داد که کارآیی استفاده پتاسیم آنها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشت و نسبت تفاوت بین ژنوتیپ‌های دارای بیشترین و کمترین کارآیی برابر با ۴/۲۵ واحد بود.

در ابتدا، تفاوت‌های مشاهده شده میان ارقام و ژنوتیپ‌های پنبه از نظر کارآیی استفاده پتاسیم به تفاوت در زودرسی آنها نسبت داده شد، زیرا اکثر این آزمایشات بر روی ارقامی بود که از نظر دوره بلوغ گیاه و غوزه تفاوت داشتند. نتایج اغلب این تحقیقات نشان داده بود که ارقام زودرس نسبت به ارقام دیررس، حساسیت بیشتری به کمبود پتاسیم دارند. در این ارقام، با فشرده شدن دوره رشد زایشی پنبه، نیاز گیاه به پتاسیم افزایش می‌یابد (Pettigrew, 2003). مطالعات بعدی بر روی مقایسه ارقام زودرس، میان‌رس و دیررس پنبه نشان داد که زودرسی تاثیری معنی‌داری بر کارآیی استفاده پتاسیم نداشت. مطالعات ژنی جایگاه کمی صفات

(Quantitative trait loci) نشان داده است که اختلاف کارآیی استفاده پتاسیم در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه گیاهی ناشی از تفاوت ژنتیکی آنها می‌باشد (Rengel and Damon, 2008). بدیهی است که گروه‌بندی و انتخاب ژنوتیپ‌های کارآ در استفاده از عناصر غذایی براساس نتایج آزمایشات مزرعه‌ای مخصوصاً اگر این آزمایشات چند ساله باشند و در مناطق مختلفی هم انجام شوند، ضرورت دارد تا بتوان کارآیی این ژنوتیپ‌ها را در شرایط واقعی رشد ارزیابی و تعیین نمود. با این وجود مطالعه ارقام و ژنوتیپ‌ها در شرایط کنترل شده نیز بخش مهم و مخصوصاً در مراحل ابتدای تحقیق، بسیار ضروری است، زیرا در شرایط آزمایشگاهی می‌توان اثر متقابل محیط × ژنوتیپ را حذف یا کنترل کرد و ژنوتیپ‌ها را در سطح شدید و مشخصی از کمبود عنصر غذایی بررسی نمود (Rengel and Graham, 1995). از این گذشته مطالعه ارقام و ژنوتیپ‌ها در محلول غذایی در شرایط کنترل شده این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان کارآیی عنصر را در تعداد زیادی از ارقام و ژنوتیپ‌ها بررسی کرد و سپس این ارقام و ژنوتیپ‌های انتخاب شده امیدبخش را که تعداد آنها نسبتاً کمتر خواهد بود، در شرایط مزرعه‌ای ارزیابی نمود (Osborne and Rengel, 2002).

در مجموع، بر اساس گروه‌بندی کارآیی پتاسیم از نظر وزن خشک در سطح کمبود پتاسیم، نسبت وزن خشک در سطح کمبود به سطح کفایت پتاسیم و کارآیی استفاده پتاسیم، رقم گلستان و ژنوتیپ N2G80 در گروه کارآ قرار گرفتند. بنابراین این رقم و ژنوتیپ را می‌توان برای مطالعات مزرعه‌ای انتخاب و در صورت تطابق نتایج آنها را برای توسعه کشت پنبه در خاک‌های دچار کمبود پتاسیم توصیه کرد.

رقم ساجدی نیز می‌تواند برای همین هدف توصیه شود، زیرا این رقم در گروه‌بندی وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود پتاسیم، برترین رقم در بین ژنوتیپ‌ها بود (شکل ۲) و از نظر کارآیی استفاده پتاسیم نیز درگروه کارآ قرار داشت (شکل ۴). این رقم با اینکه در گروه‌بندی نسبت وزن خشک اندام هوایی در سطح کمبود به سطح کفایت در گروه با کارآیی متوسط قرار گرفت، ولی نسبت به سایر ژنوتیپ‌های این گروه در رتبه نخست بود (شکل ۳).

این ژنوتیپ‌ها برای توسعه کشت پنبه در خاک‌هایی که پتاسیم قابل جذب پایینی دارند، توصیه می‌شوند. از این ژنوتیپ‌ها می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی پنبه برای این اراضی نیز استفاده کرد. بهره‌گیری از این ژنوتیپ‌ها در خاک‌های دچار کمبود پتاسیم ضمن افزایش بازده اقتصادی تولید پنبه، به‌علت کاهش مصرف کودهای شیمیایی به کاهش آثار سوء زیست‌محیطی نیز کمک خواهد کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و رئیس محترم موسسه تحقیقات پنبه کشور که با حمایت‌های مالی و معنوی زمینه اجرای این تحقیق را فراهم آوردند تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

References

Aamer, M., Sabir, M. F., and Sadiq, M. A. 2014. Exploiting genotypic variability among cotton cultivars for potassium use efficiency. Developing Country Studies 4: 7-12.

Ahmad, Z., Gill, M. A., Qureshi, R. H., Hamud-ur-Rehman, and Mahmood, T. 2001. Phosphorus nutrition of cotton cultivars under deficient and adequate levels in solution culture. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32 (1-2): 171-187.

Ardakani, A. O., Armin, M., and Filekesh, E. 2016. The effect of rate and application method of potassium on yield and yield components of cotton in saline conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 14 (3): 514-525 (in Persian).

Cassman, K. G., Kerby T. A., Roberts B. A., Bryant D. C., and Brouder, S. M. 1989. Differential response of two cotton cultivars to fertilizer and soil potassium. Agronomy Journal 81: 870-876.

Chachar, K. M., Chachar Q. I., Chachar N. A., Chachar S. D., and Chachar, M. H. 2015. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural Technology 11: 839-853.

Domingues, L. d. S., Ribeiro, N. D., Andriolo, J. L., Possobom, M. T. D. F., and Zemolin, A. E. M. 2014. Selection of common bean lines for calcium use efficiency. Revista Ciencia Agronomica 45: 767-776.

Fageria, N. K., Filho, M. P. B., and Da Costa, J. G. C. 2001. Potassium-use efficiency in common bean genotypes. Journal of Plant Nutrition 24: 1937-1945.

Gerloff, G. C. 1977. Plant efficiencies in the use of N, P and K. Pp. 161-174. In: Wright, M. J. (ed.) Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University Press, NY, USA.

Gerloff, G. C., and Gabelman, W. H. 1983. Genetic basis of inorganic plant nutrition. Pp. 453-480. In: Lauchli, A., and Bieleski, R. L. (eds.) Inorganic Plant Nutrition. Encyclopedia and Plant Physiology New Series, Volume 15B. Springer Verlag, NY,

USA.

Gill, H., Singh, A., Sethi, S., and Behl, R. 2004. Phosphorus uptake and use efficiency in different varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 50: 563-572.

Hawkesford, M. J. 2011. An overview of nutrient use efficiency and strategies for crop improvement. Pp. 5-19. In: Hawkesford, M. J., and Barraclough, P. (eds.) The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops. John Wiley & Sons, Inc. Chichester, UK.

Hua, H. B., Li, Z. H., and Tian, X. L. 2009. Mechanism of tolerance to potassium deficiency between Liaomian 18 and NuCOTN99B at seedling stage. Acta Agronomica Sinica 35: 475-482.

Iqbal, R. J., Ranjha, A. M., Waheed, T., and Ahmed, I. 2001. Genotypic differences among cotton genotypes for phosphorus use efficiency and stress factor. International Journal of Agriculture and Biology 3 (2): 186-187.

Johnson, C. M., Stout, P. R., Broyer, T. C., and Carlton, A. B. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and Soil 8: 337-353.

Jones, J. B., and Case, V. W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. Pp. 389-427. In: Westerman, R. L. (ed.) Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, Madison, WI, USA.

Kerby, T. A., and Adams, F. 1985. Potassium nutrition of cotton. Pp. 843- 860. In: Munson, R. D. (ed.) Potassium in Agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA.

Khavazi, K., Balali, M. R., Bazargan, K., Tehrani, M. M., Rezaee, H., Asadi Rahmani, H., Gheibi M. N., Davoodi, M. H., Saadat, S., Moshiri, F., and Davatgar, N. 2014. Comprehensive soil fertility and plant nutrition program 2014-2025. Soil and Water Research Institute Press. Karaj, Iran. 282 pp. (in Persian).

Korkmaz, K., and Altıntas, C. 2016. Phosphorus use efficiency in canola genotypes. Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology 4: 424-430.

Korkmaz, K., Ibrikci, H., Karnez, E., Buyuk, G., Ryan, J., Ulger, A., and Oguz, H. 2009. Phosphorus use efficiency of wheat genotypes grown in calcareous soils. Journal of Plant Nutrition 32: 2094-2106.

Kosar, H. S., Gill, M. A., Aziz, T., and Tahir, M. A. 2003. Relative phosphorus

utilization efficiency of wheat genotypes in hydroponics. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 40: 28-32.

Lopez, M., El-Dahan, M. A. A., and Leidi, E. O. 2008. Genotypic variation in potassium uptake in dryland cotton. Journal of Plant Nutrition 31: 1947-1962.

Mengel, K., and Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 849 pp.

Mulins, G. L., and Burmester, C. H. 2010. Relation of growth and development to mineral nutrition. Pp. 97-105. In: Stewart, J. M., Oosterhuis, D., Heitholt, J. J., Mauney, J. R. (eds.) Physiology of cotton. Springer publications. NY, USA.

Naseem, M., Baber, J. K., Ahmed, M., Akram, M., Tareen, M. H., and Shahinshah. 2014. Effect of potassium application on K use efficiency, K uptake and grain yield of wheat varieties. Life Science International Journal 8: 3078-3082.

Oosterhuis, D. M., Loka, D. and Raper, T. 2013. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 176: 331-343.

Osborne, L. D., and Rengel, Z. 2002. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of phosphorus uptake and utilisation. Crop and Pasture Science 53: 295-303.

Pettigerw, W. T. 2003. Relationships between insufficient potassium and crop maturity in cotton. Agronomy Journal 95: 1323-1329.

Pettigrew, W. T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiologia Plantarum 133: 670-681.

Rengel, Z., and Damon, P. M. 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. Physiologia Plantarum 133: 624-636.

Rengel, Z., and Graham, R. D. 1995. Wheat genotypes differ in Zn efficiency when grown in the chelate-buffered nutrient solution, I. Growth. Plant and Soil 176: 307-316.

Sabir, M., Gill, M. A., Rahmatullah, Aziz, T., and Maqsood, M. A. 2003. Differences among rice cultivars in potassium uptake and its utilization. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 40 (3-4): 119-121.

Seilsepour, M. 2012. Effects of different rates, sources and time of application of potassium fertilizer on quantitative and qualitative parameters of cotton (*Gossipium*

hirsutum). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 94: 23-31 (in Persian).

Shah, J. A., Zia-ul-hassan, R., I., and Sial, M. A. 2014. Evaluating boron-use-efficiency of twenty cotton genotypes of Pakistan. Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences 30: 147-158.

Siddiqi, M. Y., and Glass, A. D. M. 1981. Utilization index: A modified approach to estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. Journal of Plant Nutrition 4: 289-302.

Wang, L., and Chen, F. 2012. Genotypic variation of potassium uptake and use efficiency in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175: 303-308.

White, P. J. 2013. Improving potassium acquisition and utilisation by crop plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 176: 305-316.

White, P. J., Hammond, J. P., King, G. J., Bowen, H. C., Hayden, R. M., Meacham, M. C., Spracklen, W. P., and Broadley, M. R. 2010. Genetic analysis of potassium use efficiency in *Brassica oleracea*. Annals of Botany 105 (7): 1199-1210.

Yang, F., Wang, G., Zhang, Z., Eneji, A. E., Duan, L., Li, Z., and Tian, X. 2011. Genotypic variations in potassium uptake and utilization in cotton. Journal of Plant Nutrition 34: 83-97.

Zhang, Z., Tian X., Duan L., Wang B., He Z., and Li, Z. 2007. Differential responses of conventional and Bt-transgenic cotton to potassium deficiency. Journal of Plant Nutrition 30: 659-670.

Zia-ul-Hassan, A. M., and Khalid, A. 2011. Evaluating potassium-use-efficient cotton genotypes using different ranking methods. Journal of Plant Nutrition 34: 1957-1972.